

"CAVO ELETTRICO CON PROTEZIONE AUTORIPARANTE"

La presente invenzione riguarda un cavo, in particolare per il trasporto o la distribuzione di energia elettrica oppure per telecomunicazioni. Più in particolare, la presente invenzione riguarda un cavo come sopra definito comprendente almeno uno strato di rivestimento e dotato di una protezione autoriparante la quale è in grado di ripristinare la continuità dello strato di rivestimento a seguito di rottura dello stesso.

I cavi elettrici, in particolare quelli a basso o medio voltaggio per la distribuzione dell'energia elettrica ad uso civile od industriale, sono in genere costituiti da uno o più conduttori singolarmente isolati con un materiale polimerico e rivestiti con una guaina protettiva, anch'essa in materiale polimerico. Tali cavi, in particolare quando installati sottoterra, in cunicoli od all'interno di condotti interrati, sono soggetti a danni a carico di tali rivestimenti causati da abusi meccanici di vario tipo, ad esempio l'impatto accidentale con arnesi taglienti quali vanghe o picconi, i quali esercitano sul cavo un'azione di taglio ed allo stesso tempo di compressione. Ciò può portare a rottura parziale o completa della guaina esterna ed eventualmente anche dello strato isolante, con conseguente infiltrazione di umidità e generazione di correnti di perdita. Nel caso in cui la rottura degli strati di rivestimento sia giunta fino al conduttore, l'azione combinata delle correnti di perdita e dell'umidità porta ad una graduale corrosione del conduttore fino, al limite, a completa rottura dello stesso.

Per ottenere un'efficace protezione da tali abusi meccanici, si può dotare il cavo di una struttura esterna che sia in grado di resistere sia al taglio che alla compressione, costituita, ad esempio, da una guaina in metallo oppure in un materiale plastico combinato con un'armatura metallica. Tale soluzione, oltre ad essere costosa, porta ad un considerevole aumento dell'ingombro e della rigidità del cavo, tale da renderla non conveniente per cavi che richiedono facilità di installazione e bassi costi, come in particolare nel caso dei cavi a bassa tensione.

Nella domanda di brevetto DE-1.590.958 si descrive un cavo per telecomunicazioni o per alta intensità di corrente protetto dai danni meccanici tramite una guaina esterna dotata, sul suo lato interno, di microcapsule contenenti un liquido che sia in grado, a seguito della rottura della microcapsula, di solidificarsi rapidamente. A tale scopo, viene indicato come preferito l'utilizzo dei due componenti comunemente impiegati per la fabbricazione del poliuretano espanso, microincapsulati separatamente in modo tale che questi reagiscano tra loro al momento della rottura delle microcapsule, formando un materiale espanso che vada a chiudere il taglio accidentale. In alternativa, è possibile impiegare liquidi che solidifichino quando messi a contatto con gli agenti esterni, ad esempio con l'umidità.

Secondo la Richiedente, la soluzione prospettata nella suddetta domanda di brevetto è di difficile realizzazione pratica e presenta numerosi inconvenienti. Innanzitutto occorre notare che la possibilità di autoriparazione è limitata alla guaina esterna, e non si fornisce alcuna

indicazione sulla possibilità di ottenere il ripristino dello strato isolante. Inoltre, per ottenere un'efficace azione di autoriparazione, occorre introdurre durante l'estrusione della guaina un'elevata quantità di materiale microincapsulato, operazione che può risultare alquanto
5 difficoltosa oltre che dispendiosa. E' da notare, infine, che il meccanismo di azione delle microcapsule è di tipo irreversibile, per cui l'effetto autoriparante può essere svolto una sola volta, cioè al momento della rottura delle
10 microcapsule. In realtà, durante le varie fasi della vita del cavo (fabbricazione, stoccaggio, installazione, impiego), gli strati di rivestimento sono inevitabilmente soggetti ad azioni meccaniche esterne di compressione e flessione ed a cicli termici di espansione e compressione,
15 i quali possono portare alla rottura delle microcapsule con conseguente espansione e/o solidificazione del materiale in esse contenuto. Tale materiale, pertanto, non potrà più svolgere l'azione autoriparante desiderata nel momento in cui vi sia effettivo danneggiamento della
20 guaina. Da notare che anche nel caso in cui si impieghino microcapsule contenenti un materiale liquido che solidifica a contatto con l'umidità, la rottura accidentale delle microcapsule senza effettivo danneggiamento della guaina esterna porta comunque alla
25 solidificazione del materiale in quanto all'interno del cavo è sempre presente umidità residua.

La Richiedente ha ora trovato che, a seguito di un danno di tipo meccanico che crei una discontinuità in almeno uno degli strati di rivestimento del cavo, è
30 possibile ottenere un'efficace autoriparazione del rivestimento grazie alla presenza di uno strato interno,

posto ad esempio tra strato isolante e guaina esterna, comprendente un materiale dotato di predeterminata capacità coesiva ed allo stesso tempo di controllata capacità di scorrimento, il quale è in grado di riparare
5 il danno ripristinando la continuità dello strato di rivestimento. Dopo la creazione della discontinuità nel rivestimento, il materiale si "muove" verso il punto del danneggiamento colmando almeno in parte la discontinuità con formazione di uno strato sostanzialmente continuo che
10 è in grado di mantenere la funzionalità del cavo nelle condizioni di lavoro previste. L'azione del materiale autoriparante, che avviene con un meccanismo di tipo reversibile, evita tra l'altro l'infiltrazione di umidità e l'instaurarsi di correnti di perdita, e quindi la rapida
15 corrosione del conduttore.

La capacità di scorrimento del materiale viene predeterminata in modo tale da avere sufficiente fluidità alla temperatura operativa del cavo, ed allo stesso tempo in modo tale da evitare che il materiale scoli dalle
20 estremità del cavo o fuoriesca in modo incontrollato attraverso il punto di rottura del rivestimento.

In un primo aspetto la presente invenzione riguarda pertanto un cavo comprendente un conduttore ed almeno uno strato di rivestimento, caratterizzato dal fatto che detto
25 cavo comprende uno strato interno comprendente un materiale autoriparante avente predeterminata capacità coesiva e controllata capacità di scorrimento.

Secondo un aspetto preferito, il cavo secondo la presente invenzione comprende uno strato di rivestimento
30 isolante ed una guaina esterna, ed è caratterizzato dal fatto che lo strato interno è posto tra lo strato isolante

e la guaina esterna.

Secondo un'altra forma di realizzazione della presente invenzione, lo strato interno è posto tra conduttore e strato isolante.

5 Secondo un'ulteriore forma di realizzazione, il cavo secondo la presente invenzione comprende almeno due strati di rivestimento isolanti ed è caratterizzato dal fatto che lo strato interno è posto tra due di detti strati isolanti.

10 Secondo un ulteriore aspetto, la presente invenzione riguarda un metodo per impartire ad un cavo comprendente un conduttore ed almeno uno strato di rivestimento capacità di autoriparazione dello strato di rivestimento, caratterizzato dal fatto che detto metodo comprende dotare
15 il cavo di uno strato interno comprendente un materiale avente la capacità, a seguito della creazione di una discontinuità nello strato di rivestimento, di ristabilire la continuità nello strato di rivestimento in modo reversibile.

20 Nel seguito della descrizione e delle rivendicazioni il materiale che costituisce lo strato interno verrà indicato, per semplicità, come "materiale autoriparante".

Con il termine "strato interno" si intende uno strato posto in qualunque posizione tra il conduttore e lo strato
25 di rivestimento più esterno, ad esempio tra conduttore e strato isolante, oppure, preferibilmente, tra strato isolante e guaina esterna. In alternativa, nel caso in cui siano presenti almeno due strati isolanti, lo strato autoriparante può essere interposto tra due di detti
30 strati isolanti.

Con il termine "discontinuità" in almeno uno degli

strati di rivestimento" si intende una rottura parziale o completa dello strato stesso. Nel caso di rottura parziale solo una parte dello spessore dello strato di rivestimento è stata danneggiata, mentre si ha rottura completa quando
5 lo strato è stato tagliato in tutto il suo spessore. Naturalmente, una rottura parziale può nel tempo diventare completa, ad esempio a seguito di sollecitazioni meccaniche di trazione o flessione, oppure in conseguenza dei cicli termici di espansione e contrazione a cui è
10 soggetto il cavo durante l'utilizzo.

Con "ristabilire la continuità" si intende riempire almeno parzialmente un punto di rottura venutosi a creare nel rivestimento del cavo, in modo tale da mantenere la funzionalità del cavo almeno per un periodo di tempo
15 prefissato, e preferibilmente per l'intero periodo di vita del cavo, almeno nelle normali condizioni di impiego. In altri termini, il materiale autoriparante è in grado di impedire od almeno rallentare la degradazione dei materiali che costituiscono il cavo, ed in particolare del
20 conduttore, dovuta all'infiltrazione di agenti esterni attraverso il punto di discontinuità.

La Richiedente ha notato che, ai fini della presente invenzione, si ottiene la desiderata autoriparazione del cavo utilizzando un materiale avente predeterminata
25 capacità coesiva e controllata capacità di scorrimento. Mentre si ritiene che elevati valori di capacità coesiva siano comunque desiderabili ai fini dell'autoriparazione, è chiaro come questi valori elevati possano andare a discapito della capacità di scorrimento. Il tecnico medio
30 sarà in grado di scegliere il materiale più opportuno in cui si realizzi il desiderato compromesso tra coesione e

scorrevolezza in funzione dello specifico cavo che intende fabbricare e, soprattutto, delle condizioni di installazione e di impiego previste per il cavo stesso, in particolare in termini di temperatura e pressione.

5 In una forma preferita di realizzazione, il materiale autoriparante è un materiale dielettrico, tale per cui esso è in grado di ristabilire l'isolamento elettrico del cavo. Questa proprietà risulta particolarmente importante nel caso in cui l'abuso meccanico sia tale da provocare la
10 rottura parziale o completa dello strato isolante, cioè fino a raggiungere il conduttore. In genere sono sufficienti valori di rigidità dielettrica in corrente alternata superiori a 15 kV/mm, preferibilmente superiori a 20 kV/mm, e valori di resistività superiori a $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$,
15 preferibilmente superiori a $10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$.

Come indicato sopra, il materiale autoriparante è dotato di predeterminata capacità coesiva, tale per cui, a seguito della creazione di una discontinuità nel materiale stesso, ad esempio per azione di un arnese tagliente, ed
20 una volta rimossa la causa che ha determinato tale discontinuità, le molecole che costituiscono il materiale autoriparante siano in grado di ricreare spontaneamente legami intermolecolari sufficienti a ripristinare la continuità del materiale stesso. Tale fenomeno è di natura
25 reversibile, cioè il materiale autoriparante è in grado di svolgere efficacemente la propria funzione un numero indeterminato di volte.

Ai fini della presente invenzione, per capacità coesiva del materiale autoriparante si intende sia la
30 forza coesiva vera e propria al distacco (nel seguito indicata semplicemente come "forza coesiva"), cioè la

forza per unità di superficie necessaria a causare all'interno della massa di un campione di materiale un completo distacco di una parte del materiale dalla restante parte, sia la forza di ri-coesione (o di auto-adesione), cioè la forza necessaria a ricreare un completo distacco all'interno del materiale una volta che due porzioni del materiale stesso siano state messe a contatto per un tempo predeterminato ed in condizioni predeterminate di pressione e temperatura. In altri termini, la capacità coesiva del materiale autoriparante va valutata sia per quanto riguarda l'intensità delle forze intermolecolari che tengono unito il materiale garantendone la compattezza, sia per quanto riguarda la capacità di ricreare spontaneamente tali legami intermolecolari una volta che questi sono stati rotti dall'intervento di una forza esterna.

La forza coesiva può essere misurata secondo il metodo riportato più avanti negli esempi. Si è trovato che valori di forza coesiva, misurati a temperatura ambiente, di almeno $0,05 \text{ kg/cm}^2$ garantiscono una sufficiente capacità coesiva del materiale autoriparante, anche se preferiti sono valori compresi tra $0,1$ e 4 kg/cm^2 , ancora più preferibilmente tra $0,2$ e 2 kg/cm^2 .

La forza di ri-coesione può essere valutata in modo empirico sovrapponendo due dischetti di materiale di dimensioni predeterminate e lasciando i due dischetti a contatto per un tempo predeterminato a temperatura ambiente. Al termine di tale periodo si misura la forza necessaria a riseparare i due dischetti. Più questa forza è vicina al valore di forza coesiva propria del materiale tal quale, più il materiale è in grado di riunirsi

spontaneamente dopo il danneggiamento, riformando un materiale continuo. In pratica, la Richiedente ha trovato che nei materiali autoriparanti secondo la presente invenzione la forza di ri-coesione è preferibilmente
5 sostanzialmente identica alla forza coesiva come sopra definita, e comunque ha un valore non inferiore all'80%, preferibilmente non inferiore al 90%, rispetto al valore della forza coesiva misurata sul materiale tal quale.

Nella percezione della Richiedente, un'altra
10 caratteristica propria del materiale autoriparante secondo la presente invenzione è la capacità di scorrimento controllato, cioè il materiale autoriparante deve essere in grado di "muoversi" in modo da migrare verso il punto di rottura del rivestimento in quantità sufficiente a
15 riparare il danno.

D'altra parte, come già accennato in precedenza, la capacità di scorrimento del materiale autoriparante deve essere controllata in modo tale da evitare perdite di materiale sia tramite scolamento dalle estremità del cavo
20 sia tramite fuoriuscita dal punto di rottura del rivestimento. Tale controllo della capacità di scorrimento va garantita sia a temperatura ambiente che a temperature superiori, ad esempio alla temperatura massima di esercizio del cavo prevista (solitamente 75-90°C).

25 Si potrebbe ritenere che la capacità di scorrimento del materiale autoriparante possa essere valutata sulla base di misure di viscosità. In realtà, ai fini della presente invenzione, la Richiedente ritiene che una misura di viscosità sia di per sé non significativa, oltre al
30 fatto di non essere facilmente attuabile, in particolare per i materiali aventi proprietà di semi-solidi. La

Richiedente ha pertanto trovato più conveniente valutare empiricamente la capacità di scorrimento del materiale autoriparante tramite un test in cui si misura lo spostamento di una quantità prefissata di materiale posta su un piano inclinato ad una temperatura e per un tempo prefissati. Tale test è descritto nella specifica tecnica ST/LAB/QFE/06, § 5.5, stabilita da France Telecom/CNET (edizione: gennaio 1994). In particolare, tale valutazione può essere condotta come segue. Si pongono circa 3 grammi di materiale autoriparante su una lastra liscia di alluminio, inclinata di 60° rispetto al piano orizzontale. Il materiale con cui è costituita la lastra è scelto in modo tale da garantire un'elevata adesione del materiale in esame sulla lastra stessa, così da evitare che il materiali scivoli sulla lastra senza subire una sostanziale deformazione. La lastra viene posta in una stufa termostata a 60°C; dopo 24 ore si verifica l'eventuale smiscelamento dei vari componenti presenti nel materiale, e si misura, ad esempio tramite un calibro, lo spostamento rispetto alla posizione iniziale del fronte del materiale lungo il piano inclinato, verificando una sostanziale assenza di scivolamento dell'intera massa.

In pratica, la Richiedente ha trovato che si ottiene il desiderato controllo della capacità di scorrimento quando il materiale autoriparante, sottoposto al test di scorrimento su piano inclinato a 60°C per 24 ore descritto sopra, mostra uno spostamento del fronte del campione di materiale sul piano inclinato compreso tra 0,5 e 400 mm, preferibilmente tra 1 e 200 mm, ancora più preferibilmente tra 50 e 100 mm.

La Richiedente ritiene, d'altra parte, che il

"movimento" del materiale autoriparante verso il punto di rottura sia favorito dall'azione di compressione radiale esercitata sullo strato autoriparante dagli altri strati che costituiscono il cavo, in particolare dalla guaina
5 esterna. Infatti, il volume specifico dei materiali plastici diminuisce al diminuire della temperatura, per cui, durante il processo di raffreddamento che segue l'estrusione, la guaina esterna si contrae determinando un effetto di cerchiaggio sugli strati sottostanti, con una
10 pressione valutata dell'ordine di qualche bar. Nel caso di rottura del rivestimento del cavo, tale pressione esercita una spinta sul materiale autoriparante verso il punto di rottura, favorendo quindi l'autoriparazione. D'altra parte, la Richiedente ha constatato che la fuoriuscita di
15 materiale autoriparante dal punto di rottura si arresta rapidamente grazie alle proprietà coesive del materiale stesso.

Un'altra caratteristica vantaggiosa per il materiale autoriparante è la capacità di svolgere un'efficace azione
20 di blocco dell'umidità esterna che tende ad infiltrarsi all'interno del cavo attraverso il punto di rottura del rivestimento. A tale scopo è opportuno che il materiale autoriparante abbia un basso contenuto di acqua alla saturazione, con valori, misurati a temperatura ambiente
25 tramite titolatore Karl-Fisher, generalmente inferiori a 400 ppm, preferibilmente inferiori a 200 ppm.

D'altra parte, nel caso in cui lo strato autoriparante sia posto esternamente allo strato isolante e quest'ultimo sia costituito da un materiale reticolabile via silani, è
30 conveniente che il materiale autoriparante, pur assorbendo bassi quantitativi di umidità, abbia sufficiente

permeabilità al vapor d'acqua, in quanto, come noto, la reticolazione via silani avviene in presenza di acqua. Valori preferiti di permeabilità al vapor d'acqua, misurati a temperatura ambiente secondo la norma ASTM E96, sono generalmente compresi tra $1,2 \cdot 10^{-7}$ e $8,0 \cdot 10^{-6}$ g/(cm·ora·mmHg).

Un'ulteriore caratteristica preferita del materiale autoriparante è una sostanziale inerzia chimico-fisica rispetto ai materiali plastici con cui esso è posto a contatto. Infatti, è desiderabile che il materiale autoriparante non interagisca, nelle condizioni di esercizio, con i materiali che costituiscono gli strati adiacenti (in genere poliolefine quali polietilene e copolimeri dell'etilene, reticolati o non reticolati), onde evitare fenomeni di rigonfiamento di questi ultimi con conseguente decadimento delle proprietà meccaniche.

Una prima classe di materiali adatti a realizzare lo strato autoriparante secondo la presente invenzione è costituita dai polimeri amorfi aventi proprietà di liquidi ad alta viscosità o di semi-solidi, scelti ad esempio tra le seguenti classi di prodotti:

(a) poliisobutene o copolimeri dell'isobutene con minori quantità di differenti alfa-olefine C_4-C_{12} ;

(b) omopolimeri atattici del propilene;

(c) gomme siliconiche, costituite da catene lineari di unità monomeriche di formula $-O-SiR_1R_2-$, dove R_1 e R_2 sono radicali alifatici od aromatici eventualmente sostituiti, quali, ad esempio: dimetilsilicone, metilfenilsilicone, metilvinilsilicone, siliconi contenenti gruppi cianoacrilici oppure fluoroalchili, e simili.

Tra i prodotti indicati sopra, particolarmente

preferito è l'impiego di poliisobutene avente peso molecolare medio viscosimetrico (Staudinger) compreso tra 2.000 e 50.000, preferibilmente tra 5.000 e 20.000, commercialmente noto con i marchi Vistanex® (Esso
5 Chemical), Hycar® (Goodrich), Oppanol® (BASF), e simili.

I polimeri amorfi indicati sopra possono essere impiegati tal quali, oppure sciolti in un opportuno solvente, ad esempio un olio minerale o sintetico, in particolare un olio paraffinico o naftenico, quali ad
10 esempio gli oli noti con le sigle ASTM 103, 104A o 104B. Preferibilmente, come solventi possono essere impiegati prodotti a basso peso molecolare omologhi del polimero amorfo.

Ad esempio, nel caso del poliisobutene, può essere
15 vantaggiosamente impiegato come solvente un olio polibutenico avente peso molecolare medio osmometrico compreso tra 400 e 1.300, preferibilmente tra 500 e 1.000, ottenibile per polimerizzazione di miscele di olefine C₄ contenenti prevalentemente isobutene. Prodotti rispondenti
20 a tale caratteristiche sono reperibili sul mercato con i marchi Napvis® (BP Chemicals) ed Indopol® (Amoco).

Nel caso delle gomme siliconiche, è possibile impiegare come solvente un olio siliconico avente viscosità generalmente compresa tra 100 e 5.000 mm²/sec a
25 25°C.

In generale, la quantità di solvente è compresa tra 5 e 95% in peso, preferibilmente tra 50 e 90% in peso, rispetto al peso complessivo della miscela.

Nel caso in cui il polimero amorfo sia disciolto in un
30 opportuno solvente come sopra indicato, alla composizione può essere vantaggiosamente aggiunto un agente addensante,

il quale ha principalmente la funzione di controllare la capacità di scorrimento riducendo il rischio di fuoriuscita incontrollata del materiale autoriparante dal cavo.

5 Come agenti addensanti possono essere impiegati, ad esempio, prodotti inorganici quali silice pirogenica, bentonite e simili, o loro miscele. La quantità di agente addensante è generalmente compresa tra 1 e 20 parti in peso, preferibilmente tra 2 e 10 parti in peso, rispetto
10 al peso complessivo della miscela.

Il materiale autoriparante come sopra descritto può essere preparato secondo tecniche convenzionali, ad esempio sciogliendo a caldo il polimero amorfo e gli eventuali additivi nel solvente oleoso. Nel caso si
15 impieghi un agente addensante, questo può essere disperso tramite energica agitazione a caldo.

Un'altra classe di materiali adatti a formare lo strato interno autoriparante secondo la presente invenzione è costituita da materiali polimerici solidi
20 dispersi in una fase oleosa.

La fase oleosa può essere costituita, ad esempio, da:

(a) oli paraffinici o naftenici, ad esempio gli oli ASTM 103, 104A o 104B;

(b) oli polibutenici aventi peso molecolare medio
25 osmometrico compreso tra 400 e 1.300, preferibilmente tra 500 e 1.000, ottenibili per polimerizzazione di miscele di olefine C₄ contenenti prevalentemente isobutene, a esempio i prodotti commerciali Napvis® (BP Chemicals) ed Indopol® (Amoco);

30 (c) oli polipropilenici;

(d) poliesteri a basso peso molecolare, ad esempio

poliesteri dell'acido acrilico, quali il prodotto ECA 7955 della Exxon Chemical Co.;

o loro miscele.

Il materiale polimerico solido è in genere un polimero
5 ad alto peso molecolare con proprietà elastomeriche, scelto ad esempio tra:

(i) copolimeri o terpolimeri a blocchi dello stirene con altre olefine e/o con dieni, ad esempio con butene, etilene, propilene, isoprene, butadiene e simili, ed in
10 particolare: i polimeri triblocco stirene-butadiene-stirene (S-B-S), stirene-isoprene-stirene (S-I-S), stirene-etilene/butene-stirene (S-EB-S); i polimeri diblocco stirene-etilene/propilene (S-EP), stirene-etilene/butene (S-EB); i polimeri ramificati stirene-
15 butadiene o stirene-isoprene; tali prodotti sono disponibili commercialmente ad esempio con il marchio Kraton® (Shell Chemical);

(ii) poliisobutene o copolimeri dell'isobutene con minori quantità di differenti alfa-olefine C_4-C_{12} , avente
20 peso molecolare medio viscosimetrico (Staudinger) generalmente superiore a 40.000, preferibilmente compreso tra 50.000 e 200.000;

(iii) copolimeri del propilene con etilene e/o con alfa-olefine C_4-C_{12} (ad esempio 1-butene, isobutene, 1-
25 esene, e simili), oppure con dieni C_4-C_{20} (ad esempio 1,3-butadiene, 1,4-esadiene, 5-etilidene-2-norbornene, e simili), noti commercialmente ad esempio con i marchi Dutral® (Enichem) o Nordel® (Dow-Du Pont);

(iv) poliisoprene oppure gomma naturale;

30 (v) gomme nitriliche;

(vi) gomme butiliche;

(vii) copolimeri amorfi dell'etilene, ad esempio copolimeri dell'etilene con esteri aventi insaturazione etilenica, quali copolimeri etilene/vinilacetato (EVA), etilene/metilacrilato (EMA), etilene/etilacrilato (EEA),
5 etilene/butilacrilato (EBA), e simili;
o loro miscele.

Il materiale polimerico solido può essere disperso nella base oleosa in forma suddivisa, ad esempio sottoforma di granuli o di polvere, in quantità
10 generalmente comprese tra 5 e 70% in peso, preferibilmente tra 10 e 60% in peso, rispetto al peso complessivo della miscela. Una dispersione omogenea può essere ottenuta tramite opportuna miscelazione secondo tecniche convenzionali, ad esempio tramite un mescolatore interno
15 del tipo a rotori tangenziali (Banbury) o compenetranti, oppure in miscolatori continui tipo Ko-Kneader (Buss) o bivate co-rotante o contro-rotante.

Onde evitare di ridurre in modo inaccettabile la mobilità del materiale autoriparante alle basse
20 temperature, i prodotti oleosi eventualmente presenti hanno generalmente un punto di scorrimento (pour point), determinato secondo la norma ASTM D97-57, inferiore a 0°C, preferibilmente inferiore a -10°C, ancor più preferibilmente inferiore a -20°C.

25 Ai materiali autoriparanti descritti sopra possono essere aggiunte cariche minerali di vario tipo, aventi la funzione di migliorare la processabilità e di controllare la capacità di scorrimento, ad esempio: caolino, calcio carbonato, alluminio idrossido, magnesio idrossido, talco,
30 silice precipitata, e simili, o loro miscele. La quantità di cariche minerali può variare entro ampi limiti,

generalmente tra 5 e 50 parti in peso, preferibilmente tra 10 e 30 parti in peso, rispetto al peso complessivo della miscela. Il materiale autoriparante può inoltre contenere additivi di vario tipo quali: stabilizzanti, antiossidanti, prodotti antirame, microsfeere di vetro, e simili.

Per conferire maggiore coesività al materiale autoriparante, possono essere eventualmente aggiunti agenti adesivizzanti (tackifying agents) quali: colofonie naturali o sintetiche (ad esempio i prodotti Polypale® della Hercules, oppure Escorez® della Esso Chemical), o loro derivati; polialcoli esterificati (ad esempio i prodotti Oulupale® della Veitsiluotooy), o loro miscele. La quantità di agente adesivizzante è generalmente compresa tra 1 e 20% in peso, preferibilmente tra 5 e 10% in peso, rispetto al peso complessivo della miscela.

Lo spessore dello strato in materiale autoriparante secondo la presente invenzione deve essere tale da garantire l'autoriparazione del cavo, per cui viene selezionato principalmente in funzione delle dimensioni del cavo e del tipo di danno a cui si ritiene possa andare incontro il cavo stesso. In genere sono sufficienti spessori non inferiori a 0,1 mm, preferibilmente compresi tra 0,2 e 2 mm, più preferibilmente tra 0,3 e 1 mm.

Allo scopo di conferire proprietà di resistenza all'impatto, al cavo elettrico secondo la presente invenzione può essere aggiunto un rivestimento polimerico espanso, come descritto nella domanda di brevetto europeo No. 97107969.4 depositata il 15.05.97 a nome della Richiedente. Tale rivestimento viene preferibilmente posto a diretto contatto con la guaina di protezione esterna.

Pur non avendo di per sé particolare resistenza al taglio, il rivestimento polimerico espanso ha la capacità di assorbire, almeno in parte, l'energia trasmessa dall'impatto con un arnese tagliente e quindi di diminuire
5 il rischio di danneggiamento degli strati di rivestimento del cavo.

Il rivestimento polimerico espanso può essere costituito da un qualunque tipo di polimero espandibile come ad esempio: poliolefine, copolimeri olefinici,
10 copolimeri olefine/esteri insaturi, poliesteri, policarbonati, polisolfoni, resine fenoliche, resine ureiche, e loro miscele. Preferibilmente, possono essere impiegati polimeri o copolimeri olefinici, in particolare a base di polietilene (PE) e/o polipropilene (PP) in
15 miscela con gomme etilene-propilene. Vantaggiosamente si può impiegare PP modificato con gomme etilene-propilene (EPR), con rapporto in peso PP/EPR compreso tra 90/10 e 50/50, preferibilmente tra 85/15 e 60/40. E' altresì possibile miscelare il materiale polimerico prima
20 dell'espansione con una quantità prefissata di gomma in forma di polvere, ad esempio gomma naturale vulcanizzata. In particolare, la Richiedente ha trovato che risulta particolarmente adatto allo scopo un materiale polimerico che presenti, prima dell'espansione, un modulo a flessione
25 a temperatura ambiente superiore a 200 MPa, preferibilmente di almeno 400 MPa (misurato secondo la norma ASTM D790), ma comunque non superiore a 2.000 MPa, in modo da non aumentare in modo eccessivo la rigidità del prodotto finito. Il grado di espansione del polimero è
30 estremamente variabile in funzione dello specifico polimero impiegato e dello spessore del rivestimento che

si intende ottenere. In genere, il grado di espansione può variare tra 20% e 3.000%, preferibilmente tra 30% e 500%. Lo spessore minimo dello strato espanso in grado di garantire la desiderata resistenza all'impatto dipende
5 principalmente dal grado di espansione e dal modulo a flessione del polimero. In particolare, per i cavi del tipo a media tensione, è sufficiente uno spessore del rivestimento espanso di almeno 0,5 mm, preferibilmente compreso tra 1 e 6 mm. Ulteriori dettagli sulle
10 caratteristiche di tale strato polimerico espanso sono riportate nella suddetta domanda di brevetto europeo No. 97107969.4, il cui testo costituisce parte integrante della presente descrizione.

Allo scopo di favorire la dispersione delle
15 microcorrenti di perdita eventualmente presenti subito dopo che è stato danneggiato il cavo e prima che si sia ottenuta una completa autoriparazione dello stesso, può essere vantaggioso rivestire il conduttore stesso con uno strato di materiale polimerico avente proprietà
20 semiconduttive. Tale materiale, favorendo la dispersione delle microcorrenti di perdita, riduce il rischio di innesco di punti di corrosione sul conduttore. Lo strato semiconduttivo, applicato sul conduttore ad esempio per nastratura o, preferibilmente, tramite estrusione, ha in
25 genere uno spessore di almeno 0,05 mm, preferibilmente tra 0,1 e 0,5 mm.

In Figura 1 è riportato in forma schematica il disegno in sezione di un cavo elettrico secondo la presente invenzione di tipo unipolare, comprendente, dall'interno
30 verso l'esterno, un conduttore (1), uno strato isolante (2), uno strato autoriparante (3) come sopra descritto, ed

una guaina di protezione esterna (4).

In Figura 2 è riportata un'ulteriore forma di realizzazione di un cavo elettrico unipolare secondo la presente invenzione, comprendente, in aggiunta agli
5 elementi riportati sopra, uno strato polimerico espanso (5) come sopra descritto, disposto tra strato autoriparante (3) e guaina di protezione esterna (4), il quale conferisce al cavo elevata resistenza all'impatto.

In Fig. 3 è riportato in forma schematica il disegno
10 in sezione del dispositivo impiegato per misurare la forza coesiva del materiale autoriparante, la cui descrizione dettagliata è riportata negli esempi.

Il conduttore (1) è in genere costituito da fili metallici, preferibilmente in rame od alluminio, tra loro
15 cordati secondo tecniche convenzionali.

Lo strato isolante (2) e la guaina di protezione esterna (4) sono costituiti da una composizione polimerica, reticolata o non reticolata, avente come componente base un polimero scelto, ad esempio, tra:
20 poliolefine (omopolimeri o copolimeri di olefine diverse), copolimeri olefine/esteri etilenicamente insaturi, poliesteri, polieteri, copolimeri polieteri/poliesteri, e loro miscele. Esempi di tali polimeri sono: polietilene (PE), in particolare PE lineare a bassa densità (LLDPE);
25 polipropilene (PP); copolimeri termoplastici propilene/etilene; gomme etilene-propilene (EPR) oppure etilene-propilene-diene (EPDM); gomme naturali; gomme butiliche; copolimeri etilene/vinilacetato (EVA); copolimeri etilene/metil-acrilato (EMA); copolimeri
30 etilene/etilacrilato (EEA); copolimeri etilene/butil-acrilato (EBA); copolimeri termoplastici etilene/alfa-

olefina, e simili.

I suddetti polimeri possono essere reticolati secondo tecniche note, in particolare tramite riscaldamento in presenza di un iniziatore radicalico, ad esempio un perossido organico quale il dicumilperossido. In alternativa, si può realizzare una reticolazione via silani, la quale prevede l'impiego di un polimero come quelli indicati sopra, in particolare una poliolefina, a cui siano stati legati covalentemente unità silaniche comprendenti almeno un gruppo idrolizzabile, ad esempio gruppi trialcossisilano, in particolare trimetossisilano. L'innesto delle unità silaniche può avvenire per reazione radicalica con composti silanici, ad esempio metiltrietossisilano, dimetildietossisilano, vinildimetossisilano e simili. La reticolazione viene condotta in presenza di acqua e di un catalizzatore di reticolazione, ad esempio un titanato organico oppure un carbossilato metallico. Particolarmente preferito è il dilaurato di dibutilstagno (DBTL).

La realizzazione dello strato autoriparante può essere effettuata tramite un processo di pultrusione del materiale autoriparante sull'anima del cavo, quest'ultima essendo costituita dal solo conduttore oppure, preferibilmente, dal conduttore preventivamente rivestito con almeno uno strato isolante secondo tecniche note. Tale processo di pultrusione comprende depositare sull'anima del cavo uno strato di materiale autoriparante mantenuto ad un sufficiente grado di fluidità, ad esempio tramite riscaldamento, e quindi formare tale strato in modo da ottenere lo spessore finale desiderato. Sull'anima del cavo così rivestita possono essere quindi applicati

ulteriori strati di rivestimento (ad esempio la guaina esterna di protezione) secondo tecniche note.

In un ulteriore aspetto la presente invenzione riguarda pertanto un processo per fabbricare un cavo
5 dotato di uno strato di materiale autoriparante, comprendente le seguenti fasi:

(i) depositare il materiale autoriparante mantenuto allo stato fluido sull'anima del cavo;

(ii) formare detto strato di materiale autoriparante
10 in modo da ottenere uno strato uniforme di spessore predeterminato.

Il processo di pultrusione può essere realizzato in modo discontinuo o, preferibilmente, in modo continuo.

Entrambi gli stadi del processo di pultrusione possono
15 essere realizzati, ad esempio, tramite una testa di applicazione, costituita ad esempio da un elemento cilindrico cavo, dotata di un foro di entrata di diametro leggermente superiore al diametro dell'anima del cavo e da un foro di uscita avente diametro predeterminato in
20 funzione dello spessore desiderato per lo strato autoriparante. Dopo aver introdotto il tratto iniziale dell'anima del cavo attraverso i suddetti fori, la testa viene alimentata con il materiale autoriparante pre-riscaldato in modo da mantenere il materiale autoriparante
25 ad una temperatura tale da ottenere un sufficiente grado di fluidità. Tale temperatura è generalmente compresa tra 50° e 200°C, ed è selezionata essenzialmente in funzione dalla natura del materiale autoriparante. Facendo scorrere l'anima del cavo all'interno della testa di applicazione,
30 si realizza il primo stadio di deposizione del materiale autoriparante. La velocità di passaggio dell'anima del

cavo attraverso la testa di applicazione, e quindi il tempo di immersione nel materiale autoriparante, può variare entro ampi limiti, generalmente tra 1 e 1000 m/min, e viene selezionato principalmente in funzione del
5 tipo di materiale autoriparante impiegato.

Lo stadio successivo di formatura è realizzato dal foro di uscita della testa di applicazione stessa, il quale ha un diametro corrispondente al valore predeterminato del diametro che si vuole ottenere a caldo
10 per l'anima del cavo rivestita con il materiale autoriparante.

In alternativa, il cavo dotato di strato autoriparante secondo la presente invenzione può essere realizzato mediante una testa di estrusione di tipo convenzionale. Il
15 materiale autoriparante viene alimentato nella testa di estrusione a caldo in modo da ottenere una sufficiente fluidità, e distribuito all'interno della testa tramite un opportuno convogliatore in modo da ottenere una corona esterna in uscita dalla testa di estrusione in cui il
20 materiale è distribuito uniformemente. La testa di estrusione potrà essere del tipo a singolo strato, oppure del tipo a multistrato in modo da realizzare una coestrusione dello strato autoriparante e di uno o più degli strati contigui.

25 Allo scopo di descrivere ulteriormente l'invenzione, vengono qui di seguito forniti alcuni esempi di realizzazione.

ESEMPI 1-5.

Sono stati preparati diversi tipi di materiali
30 autoriparanti secondo la presente invenzione, la cui composizione è riportata in Tabella 1 (in parti in peso).

Per l'Esempio 1 è stato impiegato il prodotto commerciale tal quale, a cui è stato aggiunto l'antiossidante tramite dissoluzione a caldo.

I materiali degli Esempi 2-4 sono stati preparati sciogliendo a caldo (120-150°C) i componenti polimerici solidi e l'antiossidante nella fase oleosa. Nel caso dell'Esempio 2, nella soluzione così ottenuta è stata dispersa a caldo la silice pirogenica sotto forte agitazione.

10 Per quanto riguarda l'Esempio 5, la composizione è stata così preparata. I componenti polimerici solidi sono stati lavorati in un mescolatore aperto con moderato riscaldamento fino ad ottenere una foglia continua ed omogenea. Sono stati quindi addizionati l'olio
15 polibutenico e l'antiossidante, continuando la mescolazione fino a completa omogeneizzazione dell'impasto.

Sui materiali autoriparanti così preparati sono state effettuate le seguenti misure.

20 (a) Forza coesiva.

La forza coesiva è stata determinata tramite un dispositivo di cui la Fig. 3 è una rappresentazione schematica (in sezione). Con riferimento alla Fig. 3, un contenitore cilindrico (6) in alluminio (altezza 45 mm,
25 diametro interno 44 mm, a cui corrisponde una sezione di 15,2 cm²), dotato di un fondo mobile (7) anch'esso in alluminio e di un coperchio (8), è stato riempito con il materiale in esame (9), pre-riscaldato a circa 150°C in modo tale da ottenere una sufficiente fluidificazione del
30 materiale stesso e quindi una sua distribuzione omogenea all'interno del contenitore, evitando la formazione di

bolle d'aria. Sia il fondo mobile (7) che il coperchio (8) sono dotati di un'astina di aggancio (10) che ne permette il fissaggio ad un dinamometro (non rappresentato in Fig. 3). L'uso dell'alluminio garantisce un'elevata adesione
5 con il materiale in esame, così da evitare che durante la prova si abbia distacco del materiale dal fondo mobile e/o dalle pareti del cilindro.

Dopo raffreddamento del materiale fino a temperatura ambiente, il cilindro viene chiuso con il coperchio (8)
10 (ad esempio per avvitamento tramite opportuna filettatura, non rappresentata in Fig. 3) ed inserito in un dinamometro Instron, tramite il quale viene applicata al fondo mobile (7) una forza di trazione crescente (velocità di trazione: 2 mm/min) finchè non si ha "rottura" del materiale
15 autoriparante all'interno della massa, con distacco di una parte di materiale, che rimane aderente al fondo mobile, dalla massa aderente alle pareti del cilindro. La forza coesiva è data dal carico di "rottura" (espresso in kg) per unità di superficie (in cm^2). Per ciascun materiale, la
20 misurazione è stata effettuata su tre campioni. In Tabella 1 viene riportata la media aritmetica.

La capacità ri-coesiva dei vari materiali provati è stata valutata nel seguente modo. Sulla superficie di due dischi metallici (in alluminio) aventi diametro 40 mm è
25 stato deposto uno strato di materiale autoriparante di spessore pari a circa 1 cm. La deposizione è stata effettuata a caldo con l'aiuto di una spatola a bordi arrotondati in modo da ottenere uno strato il più possibile liscio, omogeneo e privo di bolle d'aria. Sul
30 lato opposto, ciascun disco era munito di un'astina di aggancio per consentirne l'applicazione ad un dinamometro.

Una volta che il materiale si è raffreddato fino a temperatura ambiente, i due dischi sono stati sovrapposti facendo combaciare i due lati ricoperti con il materiale autoriparante, così da realizzare uno spessore complessivo di materiale pari a circa 2 cm. Ai due dischetti non è stata applicata alcuna forza di compressione, per cui l'unica forza gravante sulla superficie di contatto tra i due strati di materiale autoriparante era la forza-peso (pari a circa 50 grammi) esercitata dall'insieme del disco superiore e del relativo strato di materiale autoriparante. Dopo circa 3 ore, è stata misurata, tramite dinamometro Instron, la forza necessaria ad ottenere la separazione del materiale in due parti distinte (senza provocare il distacco dei dischi dal materiale stesso). Si è trovato che tale forza era sostanzialmente identica alla forza coesiva misurata tramite il cilindro a fondo mobile descritto sopra. Inoltre, a ri-coesione avvenuta, non era più possibile individuare la superficie di congiunzione tra i due strati.

20 (b) Spostamento su piano inclinato.

Una lastra liscia in alluminio (dimensioni 400 x 80 x 2 mm) è stata accuratamente pulita con alcol e lasciata asciugare. Nella parte superiore della lastra sono stati posti 3 g di materiale autoriparante tramite una spatola a bordi arrotondati. Il materiale è stato sagomato per mezzo della spatola così da ottenere una piccola massa uniforme di forma tondeggiante, evitando la formazione di bolle d'aria. Il materiale è stato quindi lasciato riposare in posizione orizzontale per circa due ore. La posizione iniziale è stata segnata sul bordo della lastra. La lastra è stata quindi fissata su un supporto in modo da formare

un angolo di 60° rispetto al piano orizzontale, e posta in una stufa termostata a 60°C. Dopo 24 ore, la lastra è stata tolta dalla stufa e lasciata raffreddare per 1 ora a temperatura ambiente. Tramite un calibro è stato misurato lo spostamento rispetto alla posizione iniziale del fronte del materiale lungo il piano inclinato. I risultati sono riportati in Tabella 1. Per tutti i campioni in esame non si è osservato apprezzabile smiscelamento dei componenti.

(c) Invecchiamento provini di polietilene reticolato.

Per valutare l'inerzia dei materiali autoriparanti preparati come sopra rispetto alle poliolefine che normalmente costituiscono gli strati di rivestimento adiacenti allo strato autoriparante, sono state effettuate prove di invecchiamento di provini di polietilene reticolato via silani (Getilan® ATP 3) mantenuti a 80°C per 7 e 14 giorni nei materiali degli Esempi 1 e 2. In particolare, è stata determinata la variazione in peso rispetto al peso iniziale e le proprietà meccaniche prima e dopo l'invecchiamento. I risultati sono riportati in Tabella 2. Come si può notare, le prove effettuate mostrano la sostanziale inerzia dei materiali autoriparanti rispetto al polietilene reticolato, come dimostrato dalle variazioni estremamente contenute nel peso e nelle proprietà meccaniche dei provini.

TABELLA 1

Esempio	1	2	3	4	5
Vistanex® LMMH	100	30	--	--	--
Vistanex® MML80	--	--	--	--	15
Napvis® DE10	--	70	88	86	100
Silice CAB-O-SIL H5	--	5	--	--	--
Kraton® G 1702	--	--	12	14	--
Dutral® CO 043	--	--	--	--	85
Irganox® 1010	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Forza coesiva (kg/cm ²)	0,38	0,70	0,13	0,38	1,00
Spostamento su piano inclinato (mm)	350	1	10	1	75

- Vistanex® LMMH (Esso Chem. Co.): poliisobutene avente peso molecolare medio viscosimetrico (Staudinger) pari a 10.000-11.700;
- 5 Vistanex® MML80 (Esso Chem. Co.): poliisobutene avente peso molecolare medio viscosimetrico (Staudinger) pari a 64.000-81.000;
- Napvis® DE10 (BP Chemicals): olio polibutenico avente peso molecolare medio osmometrico pari a 950; pour point = -7°C (ASTM D97-57);
- 10 Silice CAB-O-SIL H5 (Cabot): silice pirogenica, avente area superficiale di 325 m²/g, e diametro medio delle particelle di 0,007 µm;
- Kraton® G 1702 (Shell Chemical Co.): copolimero diblocco stirene-etilene/propilene con peso molecolare medio 170.000;
- Dutral® CO 043 (Enichem Elastomeri): copolimero elastomerico etilene/propilene;
- 15 Irganox® 1010 (Ciba-Geigy): antiossidante (pentaeritril-tetra[3-(3,5-diterbutil-4-idrossifenil)-propionato]).

TABELLA 2

Materiale	Esempio 1			Esempio 2		
	0	7	14	0	7	14
Tempo invecch. a 80°C (giorni)						
Δ peso (%)	--	-0,54	-0,56	--	+1,48	+1,77
Carico a rottura (MPa)	21,7	21,3 (-1,9%)	20,6 (-5,1%)	21,7	19,7 (-9,3%)	20,5 (-5,6%)
Allungamento a rottura (%)	370	327 (-11,7%)	320 (-13,6%)	370	365 (-1,4%)	335 (-9,5%)
Modulo (MPa)	499	419 (-16%)	403 (-19,3%)	499	460 (-7,9%)	449 (-10%)

ESEMPIO 6

(a) Fabbricazione del cavo autoprotetto.

5 Su un conduttore di alluminio flessibile avente
sezione pari a 70 mm², è stato deposto uno strato di
materiale isolante di spessore nominale 1 mm in
polipropilene (prodotto commerciale Moplen® BT 20 della
Montell). Per questa operazione è stato utilizzato un
10 estrusore Bandera 80 mm in configurazione 25 D, con vite
di tipo a filetto di travaso ed una testa di estrusione a
riscaldamento elettrico, utilizzando il seguente montaggio
degli stampi del tipo a compressione: maschio con diametro
10,5 mm, femmina con diametro 12,0 mm. Durante
15 l'estrusione è stato adottato il seguente profilo termico
(°C):

Bocchet- ta	Vite	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Colla- re	Testa
20	neutra	180	190	195	200	210	235	240	250

Sono state impiegate le seguenti condizioni di processo:

5 Velocità di linea : 2,8 m/min

Pressione al termine dell'estrusore : 60 bar

Velocità rotazione estrusore : 1,74 rpm

Assorbimento estrusore : 30 Ampere

Diametro nominale del cavo (a freddo) : 12,1 mm.

10 Successivamente l'anima del cavo è stata sottoposta ad un'ulteriore fase di lavorazione nel corso della quale sono stati applicati, con tecnologia di tipo tandem, lo strato di materiale autoriparante e la guaina esterna.

15 A monte del punto di applicazione della guaina esterna è stata disposta una testa di applicazione collegata ad un elemento di fusione e pompaggio del materiale autoriparante.

20 Come elemento di fusione per il materiale autoriparante si è utilizzato un dispositivo Nordson BM 56 a piatto premente e pompa di alimentazione del tipo ad ingranaggi. Il collegamento tra questo dispositivo e la testa di applicazione è stato realizzato con tubo di alimentazione riscaldato a resistenza elettrica avente lunghezza di circa 3 m.

25 La testa di applicazione era costituita da un elemento cilindrico cavo dotato di foro in entrata per l'anima del cavo di diametro leggermente superiore a quello dell'anima

stessa e di foro di uscita di diametro pari a 13 mm.

Tramite tale testa di applicazione è stato applicato uno strato di materiale autoriparante avente spessore nominale di 0,5 mm, preparato secondo quanto descritto
5 sopra e corrispondente alla composizione dell'Esempio 1 (vedi Tabella 1).

La pultrusione è stata realizzata utilizzando le seguenti impostazioni termiche:

Piatto premente: 120°C

10 Tubo di alimentazione: 120°C

Testa di applicazione: 90°C.

A valle della zona di pultrusione, è stata applicata la guaina esterna con lo stesso estrusore Bandera 80 mm -
25 D descritto sopra, impiegando come materiale polipropilene Moplen® BT 20 (Montell), con spessore
15 nominale di 1 mm. Con la stessa disposizione e lo stesso profilo termico indicato sopra per lo strato isolante, è stato utilizzato il seguente montaggio degli stampi (a compressione): maschio con diametro 13,5 mm, femmina con
20 diametro 18,2 mm.

Le condizioni di processo sono state impostate come segue:

Velocità di linea : 2 m/min

Pressione al termine dell'estrusore : 20 bar

25 Velocità rotazione estrusore : 1,75 rpm

Assorbimento estrusore : 19 Ampere

Diametro nominale del cavo (a freddo) : 15,1 mm.

Con il processo descritto sopra sono stati prodotti circa 200 m di cavo con strato autoriparante.

30 (b) Prove di danneggiamento.

Il cavo così ottenuto è stato sottoposto a prove per

realizzare diversi tipi di danneggiamento degli strati di rivestimento in modo controllato e riproducibile.

Per l'esecuzione dei tagli è stato impiegato un dispositivo costituito da un telaio a forma di "C" supportante una guida all'interno della quale scorre un'asta cilindrica. Un estremo dell'asta è filettato al fine di consentire il montaggio di diversi tipi di utensili di taglio. Utilizzando tale dispositivo, sono stati realizzati i seguenti tipi di danneggiamento:

10 (1) Danneggiamento tipo "blunt" (basato sulla norma ICEA S-81-570-1996, § 6.2.3): il cavo è stato sottoposto all'impatto con un'incudine di acciaio con angolo di taglio di 92° e spigolo arrotondato con raggio di raccordo di 0,6 mm;

15 (2) Danneggiamento tipo "blade", seguito da piegatura: il cavo è stato sottoposto all'impatto con una lama d'acciaio avente spessore di 0,2 mm, e quindi a piegatura allo scopo di provocare l'apertura completa del taglio, utilizzando un mandrino avente diametro di 375 mm, pari a
20 25 volte il diametro del cavo;

 (3) Danneggiamento tipo "shovel" (secondo la norma DIN 20127): il cavo è stato sottoposto a carico statico tramite un utensile con angolo di taglio di 21,8° e profilo piatto nel punto di contatto, con larghezza 0,5
25 mm.

Per ognuno delle suddette prove, è stata determinata l'energia di impatto ovvero, nel caso di carico statico (prova (3)), il carico necessario per ottenere il taglio completo di tutti gli strati di rivestimento, fino a
30 giungere a conduttore, senza danneggiare quest'ultimo. Tale determinazione è stata effettuata con l'ausilio di un

oscilloscopio collegato al cavo entro cui viene fatta passare un certa quantità di corrente. Nel momento in cui l'arnese da taglio raggiunge il conduttore, l'oscilloscopio registra la variazione istantanea del segnale elettrico causata dal cortocircuito determinato dal contatto tra utensile e conduttore.

Per il danneggiamento tipo "blunt" (1), l'energia di impatto necessaria a raggiungere il conduttore è stata di 9,2 J, ottenuta con una massa di 53,7 kg ed altezza di caduta (comprensiva del diametro del cavo) di 32,5 mm.

Per il danneggiamento tipo "blade" (2), l'energia di impatto necessaria a raggiungere il conduttore è stata di 1 J, ottenuta con una massa di 26 kg ed altezza di caduta (comprensiva del diametro del cavo) di 19 mm.

Per il danneggiamento tipo "shovel" (3), il carico necessario a raggiungere il conduttore è stato di 100 kg.

Per valutare in modo qualitativo l'esistenza di un effetto di cerchiaggio sullo strato di materiale autoriparante da parte della guaina esterna, il cavo è stato sottoposto alla seguente prova. Su uno spezzone di cavo sono stati praticati dei fori utilizzando un trapano a colonna con punte di perforazione di 3 e 5 mm di diametro. I fori sono stati praticati su due direttrici sfalsate di 180° l'una rispetto all'altra. La profondità dei fori era tale da attraversare completamente lo spessore della guaina fino a giungere al materiale autoriparante. Il cavo così danneggiato è stato lasciato in posizione orizzontale in modo da avere una serie di fori orientati verso l'alto e l'altra serie verso il basso. Dopo 24 ore si è constatato che il materiale autoriparante aveva completamente riempito tutti i fori.

fuoriuscendo in quantità limitata. Dal momento che la prova è stata condotta senza applicare alcuna forza esterna, salvo la forza di gravità, la fuoriuscita di materiale dai fori orientati verso l'alto è una chiara
5 indicazione dell'esistenza di una pressione radiale esercitata dalla guaina esterna che aiuta il movimento del materiale verso i punti di rottura.

Sulla base di un modello matematico di cavo in cui si è tenuto conto, per i vari materiali che costituiscono il
10 cavo, del coefficiente di dilatazione termica lineare, del coefficiente di dilatazione volumetrica, della tensione longitudinale che mantiene la congruenza tra gli strati adiacenti, del modulo elastico e del salto termico a cui è sottoposto il cavo durante il processo di estrusione, la
15 Richiedente ha calcolato, per il cavo secondo il presente esempio, un valore di compressione radiale esercitata dalla guaina esterna sullo strato autoriparante pari a circa 3,8 bar. Naturalmente, tale valore va considerato solo come una valutazione approssimativa dell'effetto di
20 cerchiaggio della guaina esterna sullo strato autoriparante, tenendo conto che tale effetto è influenzato non solo dalle caratteristiche dei materiali impiegati, ma anche dalle specifiche condizioni con cui vengono condotti l'estrusione ed il successivo
25 raffreddamento della guaina.

(c) Prove elettriche.

Allo scopo di verificare l'efficacia dell'autoriparazione, su spezzoni di cavo danneggiato secondo le diverse modalità descritte sopra sono state
30 misurate le correnti di perdita nelle seguenti condizioni.

Subito dopo il danneggiamento gli spezzoni di cavo

sono stati collegati ad un circuito elettrico ed immersi in una vasca contenente acqua di rubinetto a temperatura ambiente. Durante il periodo di prova, durato complessivamente 60 giorni, è stata applicata agli
5 spezzoni di cavo una tensione a.c. di 150 V a 50 Hz, facendo circolare una corrente tale da portare la temperatura del conduttore a circa 50°C nella parte immersa in acqua, corrispondente a circa 100°C nella parte in aria, secondo cicli continui di 12 ore di riscaldamento
10 e 12 ore di raffreddamento spontaneo.

La corrente di perdita totale (I_p) è stata misurata tramite un multimetro digitale tipo Keithley Mod. 197. La corrente I_p misurata è la risultante della somma vettoriale della corrente capacitiva $I_c = \omega \cdot C \cdot V$ (dove ω è la
15 pulsazione, C la capacità e V la tensione applicata) tipica del cavo non danneggiato, e della corrente di guasto (I_g) determinata dal danno eventualmente presente. In un cavo danneggiato ma non autoprotetto, la corrente di guasto è largamente prevalente rispetto alla corrente
20 capacitiva, per cui la corrente di perdita misurata è sostanzialmente uguale alla corrente di guasto.

In Tabella 3 vengono riportati i risultati delle misure, mediati su 5 campioni dello stesso tipo. Per confronto sono riportati i valori di corrente di perdita
25 misurati sul cavo dotato di strato autoriparante tal quale, cioè non danneggiato, e su un cavo identico ma privo dello strato autoriparante su cui è stato realizzato un danneggiamento di tipo "blade".

TABELLA 3

Tempo di prova (giorni)	I_p ($\mu A/m$)				
	Cavo con strato autoriparante				Cavo senza strato autorip. taglio "blade"
	tal quale	taglio "shovel"	taglio "blade"	taglio "blunt"	
0	12,8	13,0	12,5	13,1	20.000
3	12,9	13,4	12,9	12,7	20.000
9	12,6	12,7	13,1	13,1	8.000
30	13,8	14,5	14,6	14,7	> 100.000
60	14,0	13,9	14,5	14,2	--

Come si può notare dai risultati riportati in Tabella 3, il cavo dotato di strato autoriparante secondo la presente invenzione e danneggiato secondo i vari metodi descritti sopra presenta bassissime correnti di perdita anche dopo 60 giorni di immersione in acqua, sostanzialmente identiche a quelle del cavo tal quale. Pertanto, la corrente di guasto è sostanzialmente nulla, la corrente di perdita misurata essendo attribuibile quasi esclusivamente alla corrente capacitiva propria del cavo.

Al contrario, il cavo privo di strato autoriparante e con danneggiamento tipo "blade" ha subito mostrato elevate correnti di perdita dovute al guasto, le quali hanno portato, dopo 30 giorni di permanenza in acqua, alla totale corrosione del conduttore, con interruzione completa del circuito. La leggera diminuzione della corrente di perdita dopo 9 giorni è attribuibile alla formazione di uno strato di alluminio idrossido derivante dalla corrosione del conduttore, il quale ha consentito di ottenere un certo grado di isolamento elettrico. Con il

procedere della corrosione, si sono formate ingenti quantità di alluminio idrossido, il quale, accrescendosi a contatto con l'acqua, ha portato alla completa rottura ed apertura degli strati di rivestimento.

5 ESEMPIO 7

(a) Fabbricazione del cavo autoprotetto.

Seguendo sostanzialmente le medesime modalità descritte per l'Esempio 6, è stata realizzata un'anima di cavo costituita da un conduttore in alluminio compresso
10 (sezione: 54 mm^2), isolata con uno strato di polietilene lineare a bassa densità (LLDPE) reticolato a silani (prodotto DFDA 7530 della Union Carbide) avente spessore nominale di 1 mm.

Successivamente sull'anima del cavo sono stati
15 applicati, con tecnologia di tipo tandem come descritta nell'Esempio 6, lo strato di materiale autoriparante e la guaina esterna. Il materiale autoriparante (spessore nominale: 0,5 mm) aveva la composizione dell'Esempio 5 riportato in Tabella 1, mentre la guaina esterna era
20 costituita da polietilene ad alta densità (HDPE) reticolato a silani (prodotto LS 6402-00 della Quantum) (spessore nominale: 1 mm).

Lo strato di materiale autoriparante è stato applicato tramite processo di pultrusione come descritto
25 nell'Esempio 6, con le seguenti impostazioni termiche:

Piatto premente: 200°C

Tubo di alimentazione: 200°C

Testa di applicazione: 200°C .

A valle della zona di pultrusione, è stata applicata
30 la guaina esterna secondo le modalità descritte

nell'Esempio 6.

Le condizioni di processo sono state impostate come segue:

- Velocità di linea : 1,3 m/min
- 5 Velocità rotazione estrusore : 3,82 rpm
- Assorbimento estrusore : 61,5 Ampere
- Diametro nominale del cavo (a freddo) : 14,5 mm.

Con il processo descritto sopra sono stati prodotti circa 100 m di cavo con strato autoriparante.

- 10 Spezzoni di cavo sono stati sottoposti alle medesime prove di danneggiamento descritte nell'Esempio 6. L'efficacia dell'autoriparazione è stata verificata tramite misure di corrente di perdita seguendo la medesima procedura descritta nell'Esempio 6. In Tabella 4 sono
- 15 riportati i risultati ottenuti (mediati su 5 campioni dello stesso tipo).

TABELLA 4

Tempo di prova (giorni)	I _p (μA/m)				
	Cavo con strato autoriparante				Cavo senza strato autorip. taglio "blade"
	tal quale	taglio "shovel"	taglio "blade"	taglio "blunt"	
30	18,7	19,5	20,2	19,5	> 100.000
60	19,5	19,8	20,8	20,1	--

- 20 Analogamente ai risultati dell'Esempio 6, il cavo dotato di strato autoriparante secondo la presente invenzione e danneggiato secondo i vari metodi descritti sopra ha mostrato bassissime correnti di perdita anche dopo 60 giorni di immersione in acqua, sostanzialmente identiche a quelle del cavo tal quale. Al contrario, il

cavo privo di strato autoriparante e con danneggiamento tipo "blade" ha mostrato elevate correnti di perdita dovute al guasto, le quali hanno portato, dopo 30 giorni di permanenza in acqua, alla totale corrosione del s conduttore, con interruzione completa del circuito.

RIVENDICAZIONI

1. Cavo comprendente un conduttore ed almeno uno strato di rivestimento, caratterizzato dal fatto che detto
5 cavo comprende uno strato interno comprendente un materiale autoriparante avente predeterminata capacità coesiva e controllata capacità di scorrimento.
2. Cavo secondo la rivendicazione 1, comprendente uno strato di rivestimento isolante ed una guaina esterna e
10 caratterizzato dal fatto che lo strato interno è posto tra lo strato isolante e la guaina esterna.
3. Cavo secondo la rivendicazione 1, comprendente uno strato di rivestimento isolante e caratterizzato dal fatto che lo strato interno è posto tra conduttore e strato
15 isolante.
4. Cavo secondo la rivendicazione 1, comprendente almeno due strati di rivestimento isolanti e caratterizzato dal fatto che lo strato interno è posto tra due di detti strati isolanti.
- 20 5. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il conduttore è rivestito con uno strato semiconduttivo.
6. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente in aggiunta un rivestimento
25 polimerico espanso.
7. Cavo secondo la rivendicazione 6, in cui il rivestimento polimerico espanso è posto a diretto contatto con una guaina di protezione esterna.
8. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni
30 precedenti, in cui lo strato interno ha uno spessore non inferiori a 0,1 mm.

9. Cavo secondo la rivendicazione 8, in cui lo strato interno ha uno spessore compreso tra 0,2 e 2 mm.

10. Cavo secondo la rivendicazione 9, in cui lo strato interno ha uno spessore compreso tra 0,3 e 1 mm.

5 11. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, il cui il materiale autoriparante è un materiale dielettrico.

10 12. Cavo secondo la rivendicazione 11, in cui il materiale autoriparante ha una rigidità dielettrica in corrente alternata superiore a 15 kV/mm ed una resistività superiore a $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$.

15 13. Cavo secondo la rivendicazione 12, il cui il materiale autoriparante ha una rigidità dielettrica in corrente alternata superiore a 20 kV/mm ed una resistività superiore a $10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$.

14. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il materiale autoriparante ha una forza coesiva a temperatura ambiente di almeno $0,05 \text{ kg/cm}^2$.

20 15. Cavo secondo la rivendicazione 14, in cui il materiale autoriparante ha una forza coesiva a temperatura ambiente compresa tra $0,1$ e 4 kg/cm^2 .

16. Cavo secondo la rivendicazione 15, in cui il materiale autoriparante ha una forza coesiva a temperatura ambiente compresa tra $0,2$ e 2 kg/cm^2 .

25 17. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 14 a 16, in cui il materiale autoriparante è dotato di capacità coesiva tale per cui la forza di ri-coesione misurata a temperatura ambiente ha un valore non inferiore all'80% rispetto al valore della forza coesiva misurata sul materiale tal quale.

30

18. Cavo secondo la rivendicazione 17, in cui la forza di ri-coesione misurata a temperatura ambiente ha un valore non inferiore all'90% rispetto al valore della forza coesiva misurata sul materiale tal quale.

5 19. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il materiale autoriparante ha controllata capacità di scorrimento, tale per cui un campione di circa 3 grammi di materiale autoriparante, posto su una lastra di alluminio inclinata di 60° rispetto
10 al piano orizzontale e mantenuta a 60°C per 24 ore, mostra uno spostamento del fronte del materiale lungo la lastra inclinata compreso tra 0,5 e 400 mm.

20. Cavo secondo la rivendicazione 19, in cui lo spostamento del fronte del campione di materiale
15 autoriparante lungo la lastra inclinata è compreso tra 1 e 200 mm.

21. Cavo secondo la rivendicazione 20, in cui lo spostamento del fronte del campione di materiale autoriparante lungo la lastra inclinata è compreso tra 50
20 e 100 mm.

22. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il materiale autoriparante ha un contenuto di acqua alla saturazione inferiore a 400 ppm.

23. Cavo secondo la rivendicazione 22, in cui il
25 materiale autoriparante ha un contenuto di acqua alla saturazione inferiore a 200 ppm.

24. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il materiale autoriparante ha una permeabilità al vapor d'acqua, misurata a temperatura
30 ambiente secondo la norma ASTM E96, compresa tra $1,2 \cdot 10^{-7}$ e $8,0 \cdot 10^{-6}$ g/(cm·ora·mmHg).

25. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il materiale autoriparante comprende un polimero amorfo avente proprietà di liquido ad alta viscosità o di semi-solido.

5 26. Cavo secondo la rivendicazione 25, in cui il polimero amorfo è scelto tra:

(a) poliisobutene o copolimeri dell'isobutene con minori quantità di differenti alfa-olefine C_4-C_{12} ;

(b) omopolimeri atattici del propilene;

10 (c) gomme siliconiche, costituite da catene lineari di unità monomeriche di formula $-O-SiR_1R_2-$, dove R_1 e R_2 sono radicali alifatici od aromatici eventualmente sostituiti.

27. Cavo secondo la rivendicazione 26, in cui il polimero amorfo è un poliisobutene avente peso molecolare
15 medio viscosimetrico (Staudinger) compreso tra 2.000 e 50.000.

28. Cavo secondo la rivendicazione 27, in cui il polimero amorfo è un poliisobutene avente peso molecolare medio viscosimetrico (Staudinger) compreso tra 5.000 e
20 20.000.

29. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 25 a 28, in cui il polimero amorfo è sciolto in un solvente.

30. Cavo secondo la rivendicazione 29, in cui il
25 solvente è un olio minerale o sintetico.

31. Cavo secondo la rivendicazione 30, in cui il solvente è un olio paraffinico o naftenico.

32. Cavo secondo la rivendicazione 29, in cui il polimero amorfo è sciolto in un solvente omologo del
30 polimero amorfo a basso peso molecolare.

33. Cavo secondo la rivendicazione 32, in cui il

polimero amorfo è un poliisobutene secondo la rivendicazione 27 o 28 sciolto in un olio polibutenico avente peso molecolare medio osmometrico compreso tra 400 e 1.300.

5 34. Cavo secondo la rivendicazione 32, in cui il polimero amorfo è una gomma siliconica, sciolta in un olio siliconico avente viscosità compresa tra 100 e 5.000 mm²/sec a 25°C.

35. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da
10 29 a 33, in cui la quantità di solvente è compresa tra 5 e 95% in peso, rispetto al peso complessivo della miscela.

36. Cavo secondo la rivendicazione 35, in cui la quantità di solvente è compresa tra 50 e 90% in peso, rispetto al peso complessivo della miscela.

15 37. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 29 a 36, in cui il materiale autoriparante comprende in aggiunta un agente addensante.

38. Cavo secondo la rivendicazione 37, in cui l'agente addensante è scelto tra: silice pirogenica, bentonite, o
20 loro miscele.

39. Cavo secondo la rivendicazione 37 o 38, in cui l'agente addensante è aggiunto in quantità comprese tra 1 e 20 parti in peso, rispetto al peso complessivo della miscela.

25 40. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 24, in cui il materiale autoriparante comprende un materiale polimerico solido disperso in una fase oleosa.

41. Cavo secondo la rivendicazione 40, in cui la fase oleosa è scelta tra:

30 (a) oli paraffinici o naftenici;

(b) oli polibutenici aventi peso molecolare medio

osmometrico compreso tra 400 e 1.300;

(c) oli polipropilenici;

(d) poliesteri a basso peso molecolare;

o loro miscele.

5 42. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 40 o 41, in cui il materiale polimerico solido è un polimero ad alto peso molecolare con proprietà elastomeriche scelto tra:

(i) copolimeri o terpolimeri a blocchi dello stirene
10 con altre olefine e/o con dieni;

(ii) poliisobutene o copolimeri dell'isobutene con minori quantità di differenti alfa-olefine C_4-C_{12} ;

(iii) copolimeri del propilene con etilene e/o con alfa-olefine C_4-C_{12} oppure con dieni C_4-C_{20} ;

15 (iv) poliisoprene oppure gomma naturale;

(v) gomme nitriliche;

(vi) gomme butiliche;

(vii) copolimeri amorfi dell'etilene;

o loro miscele.

20 43. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 40 a 42, in cui il materiale polimerico solido viene disperso nella fase oleosa in forma suddivisa, in quantità compresa tra 5 e 70% in peso rispetto al peso complessivo della miscela.

25 44. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 25 a 43, in cui il materiale autoriparante comprende in aggiunta una carica minerale.

45. Cavo secondo la rivendicazione 44, in cui la carica minerale è scelta tra: caolino, calcio carbonato,
30 alluminio idrossido, magnesio idrossido, talco, silice precipitata, o loro miscele.

46. Cavo secondo la rivendicazione 44 o 45, in cui la carica minerale è presente in quantità comprese tra 5 e 50 parti in peso rispetto al peso complessivo della miscela.

47. Cavo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 5 25 a 46, in cui il materiale autoriparante comprende in aggiunta un agente adesivizzante.

48. Cavo secondo la rivendicazione 47, in cui l'agente adesivizzante è scelto tra: colofonie naturali o sintetiche, o loro derivati; polialcoli esterificati; o 10 loro miscele.

49. Cavo secondo la rivendicazione 47 o 48, in cui l'agente adesivizzante è presente in quantità comprese tra 1 e 20% in peso, rispetto al peso complessivo della miscela.

15 50. Metodo per impartire ad un cavo comprendente un conduttore ed almeno uno strato di rivestimento capacità di autoriparazione dello strato di rivestimento, detto metodo comprendendo dotare il cavo di uno strato interno comprendente un materiale avente la capacità, a seguito 20 della creazione di una discontinuità nello strato di rivestimento, di ristabilire la continuità nello strato di rivestimento in modo reversibile.

51. Metodo secondo la rivendicazione 50, in cui il materiale dello strato interno è in grado di riempire 25 almeno parzialmente la discontinuità senza fuoriuscire dal cavo in modo incontrollato.

52. Processo per fabbricare un cavo dotato di uno strato di materiale autoriparante, comprendente le seguenti fasi:

30 (i) depositare il materiale autoriparante mantenuto allo stato fluido sull'anima del cavo;

(ii) formare detto strato di materiale autoriparante in modo da ottenere uno strato uniforme di spessore predeterminato.

53. Processo secondo la rivendicazione 48,
5 comprendente le seguenti fasi:

- introdurre un tratto iniziale dell'anima del cavo all'interno di una testa di applicazione attraverso un foro di entrata di diametro leggermente superiore al diametro dell'anima del cavo ed un foro di uscita avente
10 diametro predeterminato in funzione dello spessore dello strato di materiale autoriparante desiderato;

- alimentare la testa di applicazione con il materiale autoriparante mantenuto allo stato fluido tramite preriscaldamento;

15 - far scorrere l'anima del cavo attraverso la testa di applicazione in modo da realizzare la deposizione del materiale autoriparante e la contemporanea formatura dello strato di materiale autoriparante.

54. Processo per fabbricare un cavo dotato di uno
20 strato di materiale autoriparante, in cui il materiale autoriparante viene estruso sull'anima del cavo.

RIASSUNTO

Cavo, in particolare per il trasporto o la
distribuzione di energia elettrica, dotato di uno strato
5 interno comprendente un materiale autoriparante avente
predeterminata capacità coesiva e controllata capacità di
scorrimento, tale da ristabilire, a seguito della
creazione di una discontinuità in almeno uno degli strati
di rivestimento del cavo, la continuità nel rivestimento.
10 La discontinuità nel rivestimento può essere causata da
abusi meccanici di vario tipo, ad esempio l'impatto
accidentale con arnesi taglienti. Si evita in tal modo
l'infiltrazione di umidità e la formazione di correnti di
perdita, e quindi la rapida corrosione del conduttore.

15

FIG. 1

Fig. 1

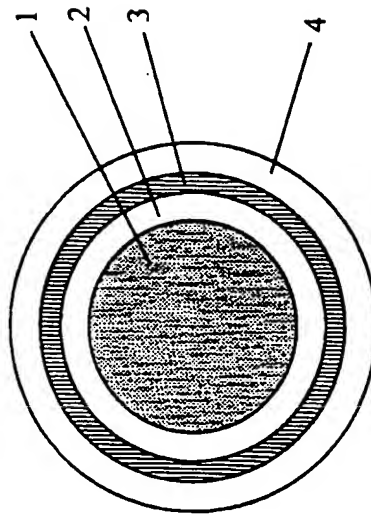


Fig. 2

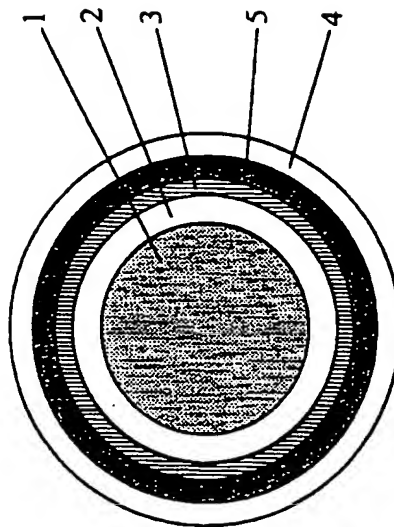


Fig. 3

